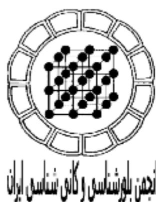
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی



سال بیست و هشتم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۹، از صفحهٔ ۶۴۵ تا ۶۵۸

کانی‌شناسی و زمین‌شیمی تورمالین‌های ناحیه مالمیر (شرق دورود- ایران)

سید وحید شاهرخی*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۷/۲۰، نسخه نهایی: ۹۸/۱۰/۸)

چکیده: ناحیه مالمیر در پهنه دگرگونه سنندج-سیرجان و در شرق شهرستان دورود قرار دارد. کهن‌ترین نهشته‌ها شامل توالی به نسبت یکنواخت اسلیت و فیلیت با رگه و رگچه‌های سیلیسی است. مهمترین واحد زمین‌شناسی موجود توده گرانیتوئیدی مالمیر به سن ژوراسیک میانی است. تجزیه به روش ریزپردازش از تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها و رگه‌های کوارتز-تورمالین نشان می‌دهد که همه تورمالین‌ها در گستره شورل-فوئیتیت با تمرکز بیشتر در منطقه شورلیت قرار دارند. رخدادهای بسیار تورمالین در واحد گرانیتی، خودشکلی و نبود منطقه‌بندی شیمیایی، بالا بودن مقدار Al و Fe/Fe+Mg و نقص در جایگاه X تورمالین‌ها بیانگر ماگمایی بودن آنهاست. بنابراین تورمالین‌های مورد بررسی وابسته به محیط‌های گرانیتی هستند و بوسیله یک سیال گرمابی با خاستگاه ماگمایی بوجود آمده‌اند. نتایج بیانگر بالا بودن نسبی مقدار $Fe^{\#}$ ، و نزدیک بودن ناحیه تشکیل تورمالین‌ها با منبع تغذیه کننده سیال و فاصله کم با توده نفوذی هستند.

واژه‌های کلیدی: *تورمالین؛ گرانیت؛ تجزیه ریزپردازشی؛ مالمیر؛ دورود؛ پهنه سنندج-سیرجان.*

مقدمه

تورمالین یک کانی رایج فرعی در انواع سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی است و کانی اولیه در سنگ‌های گرانیتی و پگماتیتی به حساب می‌آید [۲،۱]. گاهی تبلور این کانی در شرایط انتقال از مرحله زیرانجماد تأخیری ماگمایی تا زیرانجماد آغازی صورت می‌گیرد [۳]. پیچیدگی و تنوع ترکیب شیمیایی و همچنین توانایی بسیار بالای تورمالین برای جایگزینی عناصر مختلف در ساختار خود منجر به افزایش مقاومت و پایداری این کانی در گستره وسیعی از تغییرات دما و فشار شده و اهمیت این کانی در بررسی های سنگ شناسی را آشکار کرده است [۵،۴]. بر این اساس می‌توان از کانی تورمالین برای تشخیص جایگاه زمین‌شناسی و تعیین شاخص‌های ترکیب زمین شیمیایی سنگ‌های میزبان استفاده نمود [۶-۹]. به منظور بررسی ترکیب کلی سنگ میزبان و شرایط تشکیل و پایداری تورمالین و سایر کانی‌های همراه، بررسی عوامل مختلف چون گریزندگی اکسیژن، فشار، دما، مقدار بور، قدرت بازی و فعالیت عناصری مانند Ti، Mg، Fe، Al و آب از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۱۱،۱۰]. بر اساس ویژگی‌های نوری مانند رنگ، چندرنگی، سختی و ترکیب شیمیایی، پنج خاستگاه ممکن گرانیتی، پگماتیتی، پگماتیت‌های تزریق شده در نواحی دگرگونی، تورمالین‌های برجازای رسوبی و تورمالین‌های نواحی قدیمی‌تر برای تورمالین پیشنهاد شده‌اند [۱۲]. همچنین تغییرات اصولی در بسیاری عناصر کمیاب موجود در کانی تورمالین بر اساس نوع سنگ میزبان قابل دیده است [۱۳]. بررسی های انجام شده بر تورمالین‌های واقع در پهنه سنندج-سیرجان از جمله ناحیه بروجرد [۱۴]، دهگاه- سرسختی [۱۵]، مجموعه آذرین نفوذی الوند [۱۶]، پگماتیت‌های گنجنامه و منگاوی [۱۷، ۱۸]، ناحیه آدربا واقع در شمال‌خاور گلپایگان [۱۹] و ملاطالب واقع در شمال الیگودرز [۲۰، ۲۱] نیز نشانگر وجود تورمالین‌هایی از نوع شورلیت بدون منطقه‌بندی شیمیایی و از نوع ماگمایی هستند. همچنین بر اساس پژوهش‌های انجام شده، تورمالین‌های ناحیه ژان واقع در ۲۵ کیلومتری جنوب

*نویسنده مسئول، تلفن-نمابر: ۰۶۶-۳۳۱۲۰۳۹۵، پست الکترونیکی: Vahid.Shahrokhi@Gmail.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]

ناحیه مالمیر بدون منطقه‌بندی شیمیایی و از نوع شورلیت-دراویت با تمایل بیشتر به سمت شورل هستند و خاستگاه ماگمایی دارند [۲۲].

در اینجا با استفاده از نتایج تجزیه ریزپردازشی الکترونی، ترکیب تورمالین در پگماتیت‌های ناحیه مالمیر بررسی شده نوع و خاستگاه آنها در واحدهای تورمالین‌دار تعیین گردید.

روش بررسی

به منظور تعیین ترکیب، نوع و خاستگاه تورمالین در واحدهای مختلف تورمالین‌دار ناحیه مالمیر، تعداد ۱۵ نمونه از رگه‌های تورمالین‌دار و پگماتیت‌های ناحیه مالمیر برداشت گردید. پس از بررسی سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی مقاطع نازک-صیقلی تهیه شده از این نمونه‌ها، تعداد ۷ مقطع برای تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی انتخاب شدند. برای بررسی کانی‌شیمی تورمالین‌ها، تعداد ۳۰ نقطه از واحدهای مختلف تورمالین دار با استفاده از دستگاه CAMECA-SX-100 و استانداردهای مختلف برای ۱۲ عنصر در آزمایشگاه ریزپردازش الکترونی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران تجزیه (نقطه‌ای) شدند. ولتاژ شتاب‌دهنده دستگاه ۱۵ KeV و شدت جریان ۲۰ nA بود. استانداردهای ژادئیت سیلیکاتی برای سدیم، انستاتیت برای منیزیم، فایالیت برای آهن و منگنز، آپاتیت برای فسفر، ولاستونیت برای کلسیم، فلدسپار قلیایی برای سدیم و آلومینیوم استفاده شدند.

دقت تجزیه برای عناصر اصلی ۱٪ و برای عناصر فرعی ۵٪ است. فرمول ساختاری براساس ۳۱ اکسیژن، با فرض تناسب عنصری H_2O به صورت OH یعنی apfu OH+F=4 (اتم در واحد فرمول) محاسبه شد. در صورت نبود هیچ تهیجا در جایگاه‌های هشت وجهی [Li =15- (T+Z+Y)]، مقدار Li که به مکان Y بلورشناسی اختصاص دارد از مجموع آرمانی کاتیون‌هایی که مکان‌های T+Z+Y=15 را اشغال می‌کنند، کسر شد [۷]. کاتیون‌های آهن و منگنز بر پایه بررسی‌های ساختار بلوری تورمالین، دو ظرفیتی در نظر گرفته شدند، زیرا بر پایه نتایج، این متداول‌ترین ظرفیت منگنز و آهن در تورمالین است [۲۳] (جدول ۱).

جدول ۱ نتایج تجزیه ریزپردازشی تورمالین‌های موجود در رگه‌های کوارتز- تورمالین (●) منطقه مالمیر بر اساس ۳۱ آنیون (برحسب درصدوزنی).

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO_2	۳۶٫۱۴	۳۶٫۳۴	۳۶٫۵۸	۳۶٫۲۲	۳۶٫۳۷	۳۶٫۲۴	۳۶٫۱۶	۳۶٫۳۹	۳۶٫۶۰	۳۶٫۳۱
Al_2O_3	۳۵٫۵۳	۳۵٫۱۵	۳۴٫۸۶	۳۵٫۵۳	۳۶٫۶۴	۳۵٫۵۵	۳۵٫۵۵	۳۶٫۶۳	۳۴٫۸۴	۳۵٫۱۵
TiO_2	۰٫۳۰	۰٫۸۰	۰٫۸۶	۰٫۳۲	۰٫۳۶	۰٫۳۴	۰٫۲۹	۰٫۳۸	۰٫۸۸	۰٫۸۲
FeO	۱۲٫۱۹	۱۲٫۱۲	۱۱٫۹۹	۱۲٫۰۹	۱۲٫۰۷	۱۲٫۰۷	۱۲٫۲۰	۱۲٫۰۷	۱۱٫۹۷	۱۲٫۱۱
MgO	۱٫۳۹	۱٫۷۰	۱٫۸۷	۱٫۴۱	۱٫۶۲	۱٫۴۱	۱٫۳۷	۱٫۶۳	۱٫۸۵	۱٫۶۸
CaO	۰٫۱۱	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۱۳	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱۴	۰٫۲۵	۰٫۱۷
MnO	۰٫۱۵	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۷
Na_2O	۱٫۴۱	۱٫۴۹	۱٫۲۹	۱٫۲۲	۱٫۳۹	۱٫۲۱	۱٫۳۹	۱٫۳۷	۱٫۲۹	۱٫۴۹
K_2O	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴
مجموع	۸۷٫۲۵	۸۸٫۰۲	۸۷٫۸۷	۸۷٫۱۱	۸۸٫۷۶	۸۷٫۱۳	۸۷٫۲۸	۸۸٫۸۰	۸۷٫۸۹	۸۷٫۹۴
Si	۵٫۹۶۰	۵٫۸۸۱	۵٫۹۸۰	۶٫۰۴۵	۵٫۸۸۵	۵٫۸۶۷	۵٫۹۶۵	۵٫۸۲۵	۵٫۹۲۱	۵٫۹۴۳
Al	۶٫۷۴۸	۶٫۷۴۴	۶٫۶۸۴	۶٫۷۵۲	۶٫۹۵۰	۶٫۷۵۴	۶٫۷۵۶	۶٫۹۴۸	۶٫۶۸۲	۶٫۷۴۴
Ti	۰٫۰۳۴	۰٫۱۰۰	۰٫۱۰۵	۰٫۰۳۶	۰٫۰۴۴	۰٫۰۴۲	۰٫۰۳۳	۰٫۰۴۶	۰٫۱۰۷	۰٫۱۰۲
Fe^{2+}	۱٫۶۸۹	۱٫۶۵۰	۱٫۶۳۱	۱٫۶۷۸	۱٫۶۲۴	۱٫۶۷۴	۱٫۶۹۲	۱٫۶۲۴	۱٫۶۲۹	۱٫۶۴۹
Mg	۰٫۳۴۴	۰٫۴۰۷	۰٫۴۴۷	۰٫۳۴۴	۰٫۳۹۰	۰٫۳۴۸	۰٫۳۴۱	۰٫۳۹۰	۰٫۴۴۹	۰٫۴۰۸
Mn	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۵
Ca	۰٫۰۲۰	۰٫۰۳۱	۰٫۰۳۱	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۲	۰٫۰۳۱
Na	۰٫۴۵۰	۰٫۴۷۳	۰٫۴۱۰	۰٫۳۸۹	۰٫۴۳۱	۰٫۳۸۹	۰٫۴۵۰	۰٫۴۳۱	۰٫۴۱۰	۰٫۴۷۳
K	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۸
FeO+MgO	۱۳٫۵۸	۱۳٫۸۲	۱۳٫۸۶	۱۳٫۵۰	۱۳٫۶۹	۱۳٫۴۸	۱۳٫۵۷	۱۳٫۷۰	۱۳٫۸۲	۱۳٫۷۹
FeO/FeO+MgO	۰٫۸۹۸	۰٫۸۷۷	۰٫۸۶۵	۰٫۸۹۵	۰٫۸۸۳	۰٫۸۹۵	۰٫۸۹۹	۰٫۸۸۱	۰٫۸۶۶	۰٫۸۷۸
X_{site}	۰٫۴۷۶	۰٫۵۱۲	۰٫۴۶۰	۰٫۴۱۸	۰٫۴۵۹	۰٫۴۱۸	۰٫۴۷۶	۰٫۴۵۹	۰٫۴۶۰	۰٫۵۱۲
X_{vac}	۰٫۴۲۴	۰٫۴۸۸	۰٫۵۴۰	۰٫۵۸۲	۰٫۵۴۱	۰٫۵۸۲	۰٫۴۲۴	۰٫۵۴۱	۰٫۵۴۰	۰٫۴۸۸
Na+K	۰٫۴۵۶	۰٫۴۷۹	۰٫۴۱۸	۰٫۳۹۷	۰٫۴۳۹	۰٫۳۹۵	۰٫۴۵۸	۰٫۴۳۷	۰٫۴۱۸	۰٫۴۸۱
X_{vac}+Na	۰٫۹۷۴	۰٫۹۶۱	۰٫۹۵۰	۰٫۹۷۱	۰٫۹۷۲	۰٫۹۷۱	۰٫۹۷۴	۰٫۹۷۲	۰٫۹۵۰	۰٫۹۶۱
X_{vac}/X_{vac}+Na	۰٫۴۳۵	۰٫۵۰۷	۰٫۵۶۸	۰٫۵۹۹	۰٫۵۵۶	۰٫۵۹۹	۰٫۴۳۵	۰٫۵۵۶	۰٫۵۶۸	۰٫۵۰۷
Mg/Mg+Fe	۰٫۱۶۹	۰٫۱۹۸	۰٫۲۱۵	۰٫۱۷۰	۰٫۱۹۴	۰٫۱۷۲	۰٫۱۶۸	۰٫۱۹۴	۰٫۲۱۶	۰٫۱۹۸
R1=Na+Ca	۰٫۴۷۰	۰٫۵۰۴	۰٫۴۴۱	۰٫۴۱۱	۰٫۴۵۱	۰٫۴۱۰	۰٫۴۷۲	۰٫۴۵۳	۰٫۴۳۲	۰٫۵۰۴
R2=Fe^{tot}+Mg+Mn	۲٫۰۵۵	۲٫۰۸۲	۲٫۱۰۰	۲٫۰۴۳	۲٫۰۳۶	۲٫۰۴۳	۲٫۰۵۵	۲٫۰۳۶	۲٫۱۰۰	۲٫۰۸۲
Al in R2	۰٫۷۴۷	۰٫۶۵۹	۰٫۶۳۶	۰٫۷۵۴	۰٫۸۰۳	۰٫۷۵۴	۰٫۷۴۷	۰٫۸۰۳	۰٫۶۳۶	۰٫۶۵۹
R2*	۲٫۸۰۲	۲٫۷۴۱	۲٫۷۳۶	۲٫۷۹۰	۲٫۸۳۹	۲٫۷۹۶	۲٫۸۱۲	۲٫۸۴۵	۲٫۷۴۰	۲٫۷۴۴
R1+R2	۲٫۵۲۵	۲٫۵۸۶	۲٫۵۴۱	۲٫۴۵۴	۲٫۴۸۷	۲٫۴۵۳	۲٫۵۲۷	۲٫۴۸۹	۲٫۵۳۲	۲٫۵۸۶
R2*+Al in R2	۳٫۵۴۹	۳٫۴۰۰	۳٫۳۷۲	۳٫۵۵۱	۳٫۶۴۲	۳٫۵۵۱	۳٫۵۴۹	۳٫۶۴۲	۳٫۳۷۲	۳٫۴۰۰
R3=Al+1.33Ti	۶٫۷۹۳	۶٫۸۷۷	۶٫۸۲۴	۶٫۸۰۰	۷٫۰۰۱	۶٫۸۱۰	۶٫۸۰۰	۷٫۰۱۰	۶٫۸۲۴	۶٫۸۸۰

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]

ادامه جدول ۱: نتایج تجزیه ریزپردازشی تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌های (■) منطقه مالمیر بر اساس ۳۱ آنیون

شماره نمونه	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
SiO_2	۳۵٫۵۶	۳۵٫۶۶	۳۵٫۲۴	۳۵٫۱۷	۳۵٫۰۰	۳۴٫۶۰	۳۵٫۵۵	۳۵٫۸۸	۳۵٫۳۰	۳۶٫۲۱
Al_2O_3	۳۴٫۲۸	۳۴٫۸۲	۳۴٫۸۱	۳۴٫۵۳	۳۵٫۳۵	۳۵٫۷۰	۳۴٫۶۹	۳۴٫۷۳	۳۵٫۰۳	۳۴٫۹۲
TiO_2	۰٫۶۹	۰٫۶۹	۰٫۸۶	۰٫۴۵	۰٫۸۲	۰٫۸۶	۰٫۷۱	۰٫۶۲	۰٫۲۰	۰٫۶۸
FeO	۱۳٫۳۸	۱۳٫۱۴	۱۳٫۲۲	۱۳٫۱۵	۱۳٫۴۴	۱۳٫۳۱	۱۳٫۶۰	۱۲٫۹۹	۱۳٫۳۶	۱۳٫۲۵
MgO	۰٫۵۵	۰٫۸۹	۰٫۹۵	۰٫۶۸	۰٫۶۳	۰٫۶۷	۰٫۶۰	۰٫۸۸	۰٫۶۱	۰٫۸۳
CaO	۰٫۱۷	۰٫۱۵	۰٫۲۲	۰٫۲۰	۰٫۲۶	۰٫۱۷	۰٫۲۱	۰٫۱۷	۰٫۲۲	۰٫۱۶
MnO	۰٫۱۵	۰٫۱۹	۰٫۱۷	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۲۴	۰٫۱۹	۰٫۲۱
Na_2O	۱٫۵۹	۱٫۶۴	۱٫۴۱	۱٫۴۹	۱٫۷۷	۱٫۷۲	۱٫۵۵	۱٫۵۸	۱٫۵۸	۱٫۵۵
K_2O	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵
مجموع	۸۶٫۴۲	۸۷٫۲۲	۸۶٫۹۲	۸۵٫۸۶	۸۷٫۴۷	۸۷٫۲۵	۸۷٫۱۲	۸۷٫۱۳	۸۶٫۵۴	۸۷٫۸۶
Si	۵٫۹۶۲	۵٫۹۱۶	۵٫۸۲۸	۵٫۹۳۴	۵٫۸۲۰	۵٫۶۹۰	۵٫۸۶۸	۵٫۸۹۴	۵٫۷۷۸	۵٫۹۱۱
Al	۶٫۷۴۶	۶٫۷۸۸	۶٫۸۳۴	۶٫۸۲۳	۶٫۸۹۲	۶٫۹۷۸	۶٫۷۸۴	۶٫۷۷۸	۶٫۹۸۶	۶٫۷۵۴
Ti	۰٫۰۸۷	۰٫۰۸۷	۰٫۱۰۷	۰٫۰۵۶	۰٫۱۰۲	۰٫۱۰۷	۰٫۰۹۰	۰٫۰۷۸	۰٫۰۲۵	۰٫۰۸۴
Fe^{2+}	۱٫۸۶۸	۱٫۸۱۷	۱٫۸۴۲	۱٫۸۴۷	۱٫۸۵۹	۱٫۸۴۶	۱٫۸۸۷	۱٫۸۰۰	۱٫۸۹۰	۱٫۸۱۸
Mg	۰٫۱۳۸	۰٫۲۲۵	۰٫۱۷۲	۰٫۱۶۶	۰٫۱۵۲	۰٫۱۶۷	۰٫۱۵۰	۰٫۲۱۵	۰٫۱۵۰	۰٫۲۰۰
Mn	۰٫۰۲۳	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۳	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۱	۰٫۰۳۲	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۸
Ca	۰٫۰۳۲	۰٫۰۲۱	۰٫۰۴۱	۰٫۰۳۸	۰٫۰۴۴	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۶	۰٫۰۳۲	۰٫۰۴۱	۰٫۰۲۶
Na	۰٫۵۲۱	۰٫۵۲۹	۰٫۴۴۹	۰٫۴۷۳	۰٫۵۶۵	۰٫۵۵۰	۰٫۵۰۰	۰٫۵۰۴	۰٫۵۱۵	۰٫۵۰۰
K	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱
FeO+MgO	۱۳٫۹۳	۱۴٫۰۳	۱۴٫۱۷	۱۳٫۸۳	۱۴٫۰۷	۱۳٫۹۸	۱۴٫۲۰	۱۳٫۸۷	۱۳٫۹۷	۱۴٫۰۸
FeO/FeO+MgO	۰٫۹۶۰	۰٫۹۳۶	۰٫۹۳۳	۰٫۹۵۱	۰٫۹۵۵	۰٫۹۵۲	۰٫۹۵۸	۰٫۹۳۶	۰٫۹۵۶	۰٫۹۴۱
X_{site}	۰٫۵۶۴	۰٫۵۶۷	۰٫۵۰۱	۰٫۵۲۹	۰٫۶۲۰	۰٫۵۹۳	۰٫۵۴۹	۰٫۵۴۳	۰٫۵۶۴	۰٫۵۲۶
X_{vac}	۰٫۴۶۳	۰٫۴۳۳	۰٫۴۹۹	۰٫۴۷۱	۰٫۳۸۰	۰٫۴۰۷	۰٫۴۵۱	۰٫۴۵۷	۰٫۴۳۶	۰٫۴۷۴
Na+K	۰٫۵۳۲	۰٫۵۳۷	۰٫۴۵۷	۰٫۴۸۱	۰٫۵۷۶	۰٫۵۶۱	۰٫۵۱۱	۰٫۵۱۲	۰٫۵۲۶	۰٫۵۱۱
X_{vac}+Na	۰٫۹۸۴	۰٫۹۶۲	۰٫۹۴۸	۰٫۹۵۳	۰٫۹۴۵	۰٫۹۵۷	۰٫۹۵۳	۰٫۹۶۱	۰٫۹۵۱	۰٫۹۷۴
X_{vac}/X_{vac}+Na	۰٫۴۷۰	۰٫۴۵۰	۰٫۵۲۶	۰٫۴۹۲	۰٫۴۰۲	۰٫۴۲۵	۰٫۴۷۳	۰٫۴۷۵	۰٫۴۵۸	۰٫۴۸۶
Mg/Mg+Fe Fe/Fe+Mg	۰٫۰۶۹	۰٫۱۱۰	۰٫۰۸۵	۰٫۰۸۲	۰٫۰۷۵	۰٫۰۸۳	۰٫۰۷۴	۰٫۱۰۷	۰٫۰۷۳	۰٫۰۹۹
R1=Na+Ca	۰٫۵۵۳	۰٫۵۵۰	۰٫۴۹۰	۰٫۵۱۱	۰٫۶۰۹	۰٫۵۸۲	۰٫۵۳۶	۰٫۵۳۶	۰٫۵۵۶	۰٫۵۲۶
R2=Fe^{tot}+Mg+Mn	۲٫۰۲۹	۲٫۰۷۰	۲٫۰۳۷	۲٫۰۳۳	۲٫۰۳۱	۲٫۰۳۸	۲٫۰۵۸	۲٫۰۴۷	۲٫۰۶۶	۲٫۰۴۶
Al in R2	۰٫۶۸۵	۰٫۶۹۷	۰٫۶۹۷	۰٫۷۴۱	۰٫۶۹۲	۰٫۷۲۱	۰٫۶۸۳	۰٫۷۰۲	۰٫۷۸۷	۰٫۶۹۲
R2*	۲٫۷۱۳	۲٫۷۷۰	۲٫۷۳۸	۲٫۷۷۷	۲٫۷۳۵	۲٫۷۶۱	۲٫۷۳۹	۲٫۷۵۱	۲٫۸۵۵	۲٫۷۴۱
R1+R2	۲٫۵۸۲	۲٫۶۲۰	۲٫۵۲۷	۲٫۵۴۴	۲٫۶۴۰	۲٫۶۲۰	۲٫۵۹۴	۲٫۵۸۳	۲٫۶۲۲	۲٫۵۹۲
R2*+Al in R2	۳٫۳۹۹	۳٫۴۶۴	۳٫۴۳۱	۳٫۵۱۵	۳٫۴۱۵	۳٫۴۸۰	۳٫۴۲۴	۳٫۴۵۱	۲٫۸۵۳	۳٫۴۳۱
R3=Al+1.33Ti	۶٫۸۶۱	۶٫۹۰۴	۶٫۹۷۶	۶٫۸۹۷	۷٫۰۲۸	۷٫۱۲۰	۶٫۹۰۴	۶٫۸۸۲	۷٫۰۱۹	۶٫۸۶۶

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]

ادامه جدول ۱ نتایج تجزیه ریزپردازشی تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌های ( ) منطقه مالمیر بر اساس ۳۱ آنیون

شماره نمونه	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
SiO_2	۳۴٫۹۸	۳۵٫۶۱	۳۵٫۳۶	۳۵٫۷۰	۳۵٫۶۹	۳۵٫۸۳	۳۵٫۷۱	۳۴٫۷۳	۳۵٫۵۸	۳۵٫۴۱
Al_2O_3	۳۴٫۶۰	۳۴٫۵۹	۳۵٫۱۴	۳۵٫۰۲	۳۵٫۱۴	۳۵٫۱۰	۳۴٫۷۹	۳۵٫۴۶	۳۴٫۸۳	۳۴٫۲۹
TiO_2	۰٫۸۸	۰٫۷۱	۰٫۸۶	۰٫۵۷	۰٫۷۶	۰٫۶۷	۰٫۶۹	۰٫۱۶	۰٫۰۱	۰٫۶۹
FeO	۱۳٫۵۰	۱۳٫۶۶	۱۳٫۴۵	۱۳٫۳۲	۱۳٫۳۹	۱۳٫۰۵	۱۳٫۱۰	۱۳٫۱۴	۱۳٫۶۹	۱۳٫۰۶
MgO	۰٫۷۴	۰٫۶۲	۰٫۶۷	۰٫۶۶	۰٫۶۵	۰٫۸۴	۰٫۸۶	۰٫۶۶	۰٫۵۹	۰٫۷۱
CaO	۰٫۲۲	۰٫۱۷	۰٫۲۳	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۱۸	۰٫۲۱	۰٫۲۰
MnO	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۷	۰٫۲۲	۰٫۱۹	۰٫۱۳	۰٫۱۵	۰٫۱۶
Na_2O	۱٫۴۲	۱٫۵۰	۱٫۵۵	۱٫۴۹	۱٫۵۵	۱٫۶۳	۱٫۵۵	۱٫۶۴	۱٫۸۹	۱٫۴۹
K_2O	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۶
مجموع	۸۶٫۵۵	۸۷٫۰۷	۸۷٫۴۵	۸۷٫۱۴	۸۷٫۵۷	۸۷٫۵۲	۸۷٫۰۸	۸۶٫۱۴	۸۷٫۰۰	۸۶٫۰۷
Si	۵٫۸۰۷	۵٫۹۰۹	۵٫۸۲۴	۵٫۸۸۰	۵٫۹۰۸	۵٫۹۱۱	۵٫۸۶۵	۵٫۸۹۰	۵٫۹۱۸	۵٫۹۰۵
Al	۶٫۹۸۵	۶٫۷۷۰	۶٫۸۴۵	۶٫۸۳۲	۶٫۸۲۶	۶٫۸۰۱	۶٫۷۸۵	۶٫۹۹۸	۶٫۸۲۸	۶٫۷۶۹
Ti	۰٫۰۲۴	۰٫۰۹۰	۰٫۱۰۷	۰٫۰۷۲	۰٫۰۹۵	۰٫۰۸۳	۰٫۰۸۷	۰٫۰۲۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۸۸
Fe^{2+}	۱٫۸۸۹	۱٫۸۹۷	۱٫۸۵۹	۱٫۸۴۴	۱٫۸۴۶	۱٫۷۹۹	۱٫۸۱۲	۱٫۸۳۱	۱٫۹۰۵	۱٫۸۲۹
Mg	۰٫۱۵۱	۰٫۱۵۲	۰٫۱۶۲	۰٫۱۶۱	۰٫۱۵۸	۰٫۲۱۶	۰٫۲۰۸	۰٫۱۶۱	۰٫۱۵۲	۰٫۱۷۱
Mn	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۴	۰٫۰۳۲	۰٫۰۲۷	۰٫۰۱۸	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۳
Ca	۰٫۰۳۸	۰٫۰۳۰	۰٫۰۳۹	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۰	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۸	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۸	۰٫۰۳۶
Na	۰٫۵۱۵	۰٫۴۸۰	۰٫۵۰۰	۰٫۴۷۳	۰٫۵۰۰	۰٫۵۰۴	۰٫۵۰۰	۰٫۵۲۹	۰٫۶۱۳	۰٫۴۷۳
K	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۳
FeO+MgO	۱۴٫۲۴	۱۴٫۲۸	۱۴٫۱۲	۱۳٫۹۸	۱۴٫۰۴	۱۳٫۸۹	۱۳٫۹۶	۱۳٫۸۰	۱۴٫۲۰	۱۳٫۷۷
FeO/FeO+MgO	۰٫۹۵۰	۰٫۹۵۶	۰٫۹۵۲	۰٫۹۵۲	۰٫۹۵۴	۰٫۹۳۷	۰٫۹۳۹	۰٫۹۵۲	۰٫۹۶۴	۰٫۹۴۸
X_{site}	۰٫۵۶۴	۰٫۵۱۴	۰٫۵۴۷	۰٫۵۱۶	۰٫۵۳۳	۰٫۵۴۳	۰٫۵۳۶	۰٫۵۷	۰٫۶۵۸	۰٫۵۴۳
X_{vac}	۰٫۴۳۶	۰٫۴۸۶	۰٫۴۵۳	۰٫۴۸۴	۰٫۴۶۷	۰٫۴۵۷	۰٫۴۶۴	۰٫۴۳	۰٫۳۴۲	۰٫۴۵۷
Na+K	۰٫۵۲۱	۰٫۴۸۶	۰٫۵۰۸	۰٫۴۸۴	۰٫۵۱۱	۰٫۵۱۲	۰٫۵۰۶	۰٫۵۳۷	۰٫۶۲۴	۰٫۴۸۶
X_{vac}+Na	۰٫۹۵۱	۰٫۹۶۶	۰٫۹۵۳	۰٫۹۵۹	۰٫۹۵۹	۰٫۹۶۱	۰٫۹۶۴	۰٫۹۵۹	۰٫۹۵۵	۰٫۹۵۱
X_{vac}/X_{vac}+Na	۰٫۴۵۸	۰٫۵۰۳	۰٫۴۷۵	۰٫۵۰۴	۰٫۴۸۶	۰٫۴۷۵	۰٫۴۸۱	۰٫۴۴	۰٫۳۵۸	۰٫۴۸۰
Mg/Mg+Fe	۰٫۰۷۴	۰٫۰۷۴	۰٫۰۸۰	۰٫۰۸۰	۰٫۰۷۹	۰٫۱۰۷	۰٫۱۰۳	۰٫۰۸۱	۰٫۰۷۴	۰٫۰۸۵
R1=Na+Ca	۰٫۵۴۳	۰٫۵۱۰	۰٫۵۳۹	۰٫۵۰۵	۰٫۵۳۰	۰٫۵۳۰	۰٫۵۲۸	۰٫۵۶۱	۰٫۶۵۱	۰٫۵۰۹
R2=Fe^{tot}+Mg+Mn	۲٫۰۶۶	۲٫۰۷۳	۲٫۰۴۲	۲٫۰۲۵	۲٫۰۲۸	۲٫۰۴۷	۲٫۰۴۷	۲٫۰۱۰	۲٫۰۷۸	۲٫۰۲۳
Al in R2	۰٫۷۸۷	۰٫۶۸۰	۰٫۶۸۸	۰٫۷۳۹	۰٫۷۰۸	۰٫۷۰۲	۰٫۶۹۳	۰٫۸۱۹	۰٫۷۴۵	۰٫۶۹۷
R2*	۲٫۸۵۵	۲٫۷۵۷	۲٫۷۲۹	۲٫۷۶۶	۲٫۷۴۱	۲٫۷۴۵	۲٫۷۳۸	۲٫۸۳۱	۲٫۸۲۶	۰٫۷۱۹
R1+R2	۲٫۶۱۹	۲٫۵۸۳	۲٫۵۸۱	۲٫۵۳۰	۲٫۵۵۸	۲٫۵۷۷	۲٫۵۷۵	۲٫۵۷۱	۲٫۷۲۹	۲٫۵۳۲
R2*+Al in R2	۲٫۸۵۳	۳٫۴۳۳	۳٫۴۱۸	۳٫۵۰۳	۳٫۴۴۴	۳٫۴۵۱	۳٫۴۳۳	۳٫۶۴۸	۳٫۵۶۸	۳٫۴۱۷
R3=Al+1.33Ti	۷٫۰۱۷	۶٫۸۹۰	۶٫۹۸۷	۶٫۹۲۸	۶٫۹۵۲	۶٫۹۱۱	۶٫۹۰۱	۷٫۰۲۵	۶٫۸۲۸	۶٫۸۸۶

بحث و بررسی

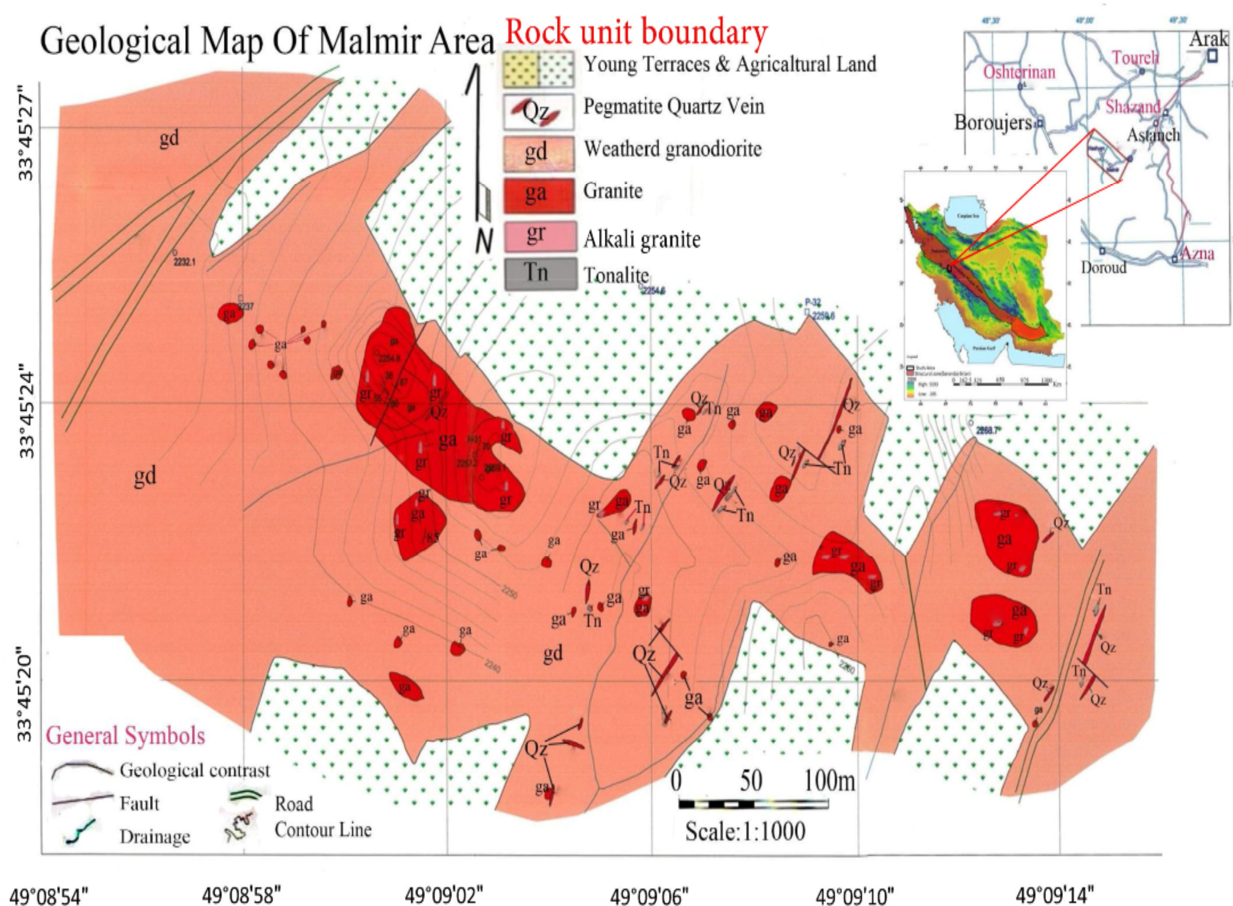
زمین‌شناسی عمومی

ناحیه مالمیر در شمال استان لرستان و در شرق شهرستان دورود بین طول‌های جغرافیایی ″۵۴ '۰۸ °۴۹ تا ″۱۴ '۰۹ °۴۹ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۱۵ '۴۵ °۳۳ تا ″۳۰ '۴۵ °۳۳ شمالی و در ضلع شرقی برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ بروجرد واقع بوده و ادامه آن در برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ ورچه قابل پیگیری است. (شکل ۱). از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری، این ناحیه بخشی از پهنه سنندج- سیرجان است [۲۴] و در زیر پهنه بیستون شامل کربنات‌های محیط کم عمق دریا از زمان تریاس پسین تا کرتاسه پسین قرار دارد [۲۵]. از دیدگاه سنگ‌شناسی، قدیمی‌ترین نهشته‌های موجود در ناحیه بروجرد وابسته به تریاس پسین- ژوراسیک هستندکه با گسترش بسیار از توالی به نسبت یکنواخت اسلیت برای یافته و اپیدوتی شده و شیست‌های میکادار نیم‌رس با رگه و رگچه‌های سیلیسی و میکاشیست

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]

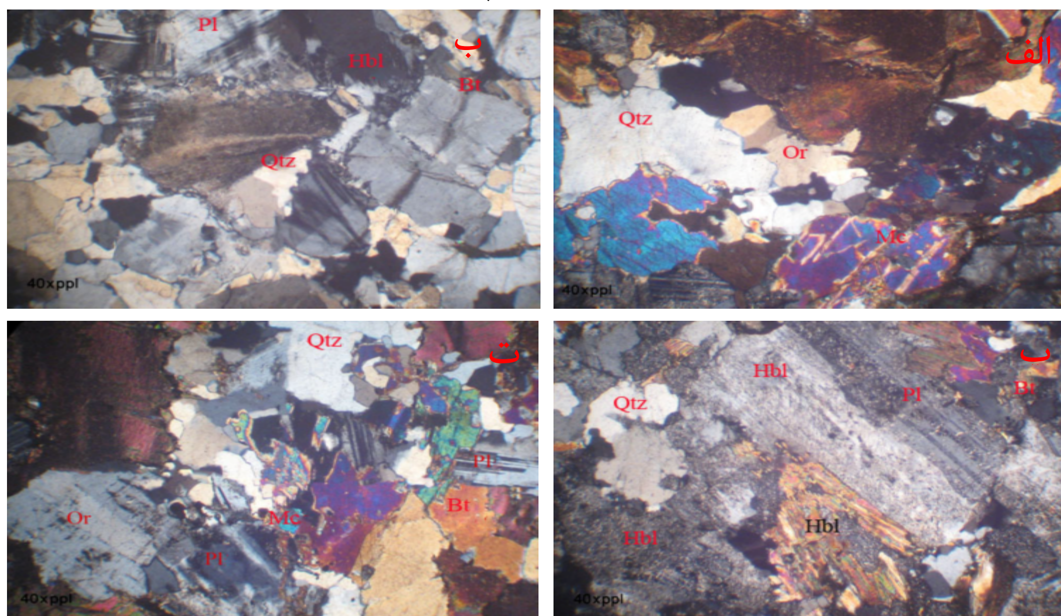
کوردیریت و سیلیمانیت‌دار به همراه هورنفلس‌های سیاه رنگ و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده تشکیل شده‌اند [۲۶]. به علت مشخص نبودن حد پایین رسوب‌های تریاس پسین- ژوراسیک و تا حدی بهم‌ریختگی زمین ساختی، دگرشکلی‌های متعدد و یکنواختی توالی رسوب‌ها در مقیاس ناحیه‌ای، ضخامت این توالی و تغییرات جانبی لایه‌ها بطور دقیق قابل اندازه‌گیری نبوده و به راحتی قابل پی‌گیری نیست [۲۷]. نفوذ ماگما، طی ژوراسیک میانی (~165 Ma) [۲۸، ۲۹] و شکل‌گیری توده گرانیتوئیدی بر سنگ‌های پیرامون اثر گذاشته و موجب گسترش هاله دگرگونی در محل تماس با توده نفوذی شده است [۳۰]. بر این اساس، مهمترین رخداد زمین‌شناسی در این منطقه، پیدایش توده‌های گرانیتوئیدی بروجرد در ژوراسیک میانی است که درون شیست‌ها نفوذ کرده و باعث ایجاد مقدار کمی هورنفلس و شیست‌های لکه‌دار در این منطقه شده‌اند [۲۷، ۳۱]. بر اساس سن‌سنجی انجام شده به روش U-Pb بر کانی زیرکن [۲۸، ۲۹]، پیدایش این توده به عنوان بخشی از توده‌های گرانیتوئیدی بروجرد [۳۲-۳۴] همزمان با توده آستانه [۳۵، ۳۶] و الوند [۱۶] در دوره ژوراسیک میانی و بر اساس روش Rb-Sr، مربوط به کرتاسه پیشین (حدود ۱۲۰ Ma) [۳۷] بوده است. فعالیت‌های ماگمایی و توده گرانیتوئیدی، بر زمین‌شناسی منطقه اثر داشته و سبب تغییرات شدیدی در سامانه آبراهه‌ای و مکان نگاری شده [۳۸] و نقش اساسی در شکل‌گیری کلی ریختار منطقه داشته است [۳۹]. بررسی های انجام شده نشان می‌دهند که گرانیتوئیدهای منطقه مالمیر آهن‌دار، پرآلومین تا کمی آلومین و آهکی قلیایی تا حدی قلیایی و از نوع A هستند [۳۸]. از سوی دیگر، بررسی های صحرایی، سیماهای سنگ نگاری و نتایج زمین شیمی نشان می‌دهد که گرانیتوئیدهای این منطقه از نوع A-type نوع دوم بوده و ویژگی‌های آهکی قلیایی و قلیایی را همزمان دارا هستند [۳۷] (شکل ۱).



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ناحیه مالمیر.

زمین‌شناسی توده گرانیتوئیدی و ویژگی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری واحدهای تورمالین‌دار

ترکیب توده گرانیتوئیدی مالمیر بر اساس پیمایش‌های صحرایی و نیز بررسی مقاطع نازک بررسی شد. همچنین روابط صحرایی بین مجموعه‌های سنگ‌شناسی موجود در منطقه، ارتباط پگماتیت تورمالین‌دار با این مجموعه‌ها و ارتباط رگه‌های کوارتز- تورمالینی با سنگ‌های اطراف بررسی گردید (شکل ۱). بر این اساس، ترکیب عمومی این توده شامل گرانودیوریت، پگماتیت‌گرانیت، تونالیت، کوارتزدیوریت، پگماتیت تورمالین‌دار، گرانیت قلیایی و رگه‌های کوارتز-تورمالین است. پگماتیت گرانیتی حجم بالائی از منطقه را می‌پوشاند. این مجموعه دارای بافت درشت‌دانه تا پورفیری بوده و دربردارنده کانی‌های ارتوکلاز، کوارتز و میکروکلین به عنوان کانی اصلی و اسفن به عنوان کانی فرعی است. برخی از ارتوزها تا ۱۵ میلیمتر طول داشته و در زمینه‌ای ریزتر نسبت به خود قرار دارند که نشانگر بافت پورفیری است. همچنین در این سنگ‌ها، بافت درشت‌دانه نیز دیده می‌گردد. در برخی بلورهای ارتوز، بافت پرتیتی دیده می‌شود، یعنی در ارتوز مقداری آلبیت بصورت ناآمیخته وجود دارد (تصویر ۲ الف). تونالیت دارای بافت متوسط تا درشت‌دانه و شامل کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند به عنوان کانی اصلی و اسفن و کانی‌های کدر به عنوان کانی فرعی است. بلورهای کوارتز ناخودشکل توسط دیگر کانی‌ها احاطه شده‌اند (تصویر ۲ ب). کوارتزدیوریت با بافت درشت تا متوسط‌دانه و دربردارنده کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت و کانی‌های فرعی کوارتز، اسفن و نیز کانی‌های کدر است. بیشتر کانی‌ها ناخودشکل هستند. (شکل ۲ پ). گرانیت قلیایی با بافت دانه‌ای متوسط‌دانه شامل کانی‌های اصلی کوارتز (۳۰٪) و ارتوکلاز (۶۰٪) به‌صورت نیمه‌خودشکل تا ناخودشکل و کانی‌های فرعی میکروکلین پرتیتی، اسفن و مقادیر کمی آپاتیت و بیوتیت است (تصویر ۲ ت). پگماتیت تورمالین‌دار با بافت پگماتوئیدی نیز دیده می‌شود. بلورهای درشت اورتوکلاز، پلاژیوکلاز از نوع آلبیت، کوارتز و همچنین بلورهای مسکویت قابل دیده‌اند. برخی از بلورهای ارتوکلاز به مقدار کم دگرسان شده و به احتمال بسیار به کائولن تبدیل شده‌اند (تصویر ۳ الف). تورمالین به رنگ آبی تا سبز با چندرنگی معکوس شدید دیده می‌شود. این تورمالین‌ها به وفور در پگماتیت‌های موجود در توده‌های گرانیتوییدی و به طول تقریبی ۱۴ تا ۲۲ میلی‌متر برونزد دارند. این تورمالین‌ها به شکل پراکنده و گاه نیز به‌صورت عدسی کشیده و به طول ۲۰ متر و ضخامت متوسط یک متر در میان توده پگماتیتی قرار دارند که گاه از نوع تورمالینیت با ۱۰۰ درصد تورمالین هستند (شکل‌های ۳ ب و پ).

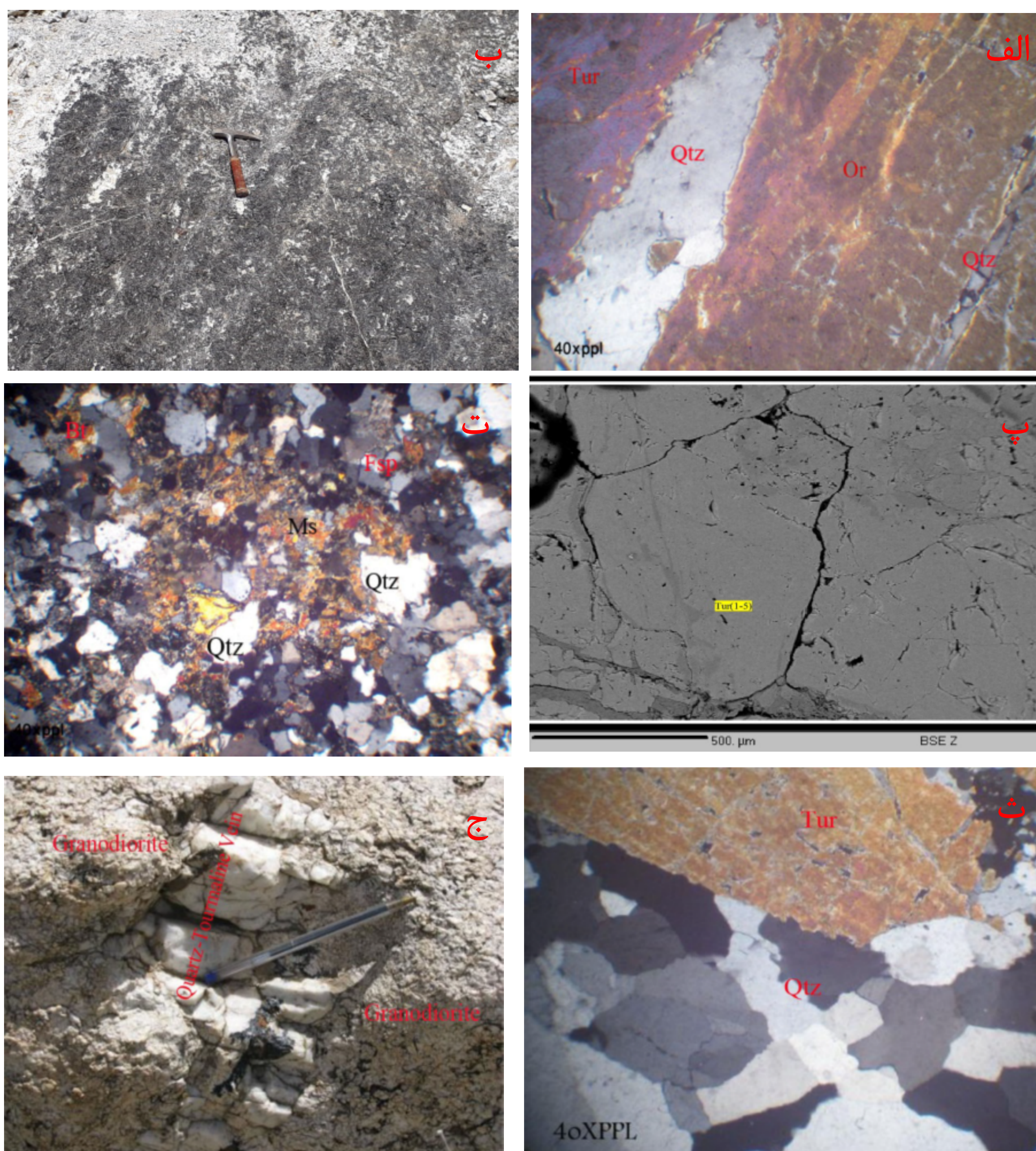


شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی از واحدهای سنگی ناحیه مالمیر. الف) پگماتیت‌گرانیتی مشتمل بر کانی‌های ارتوکلاز، کوارتز و میکروکلین. ب) تونالیت دارای بافت متوسط تا درشت‌دانه متشکل از کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند. پ) کوارتزدیوریت با بافت درشت تا متوسط‌دانه و مشتمل بر کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت. ت)گرانیت قلیایی با بافت دانه‌ای متوسط‌دانه مشتمل بر کانی‌های اصلی کوارتز و ارتوکلاز به‌صورت نیمه‌خودشکل. علائم اختصاری بر اساس [۴۰] و مشتمل بر Qtz: کوارتز- Hbl: هورنبلند- Fsp: فلدسپار- Pl: پلاژیوکلاز- Mc: میکروکلین- Bt: بیوتیت- Ms: موسکوویت- Or: ارتوز- Tur: تورمالین.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]



شکل ۳ تصاویر صحرایی، میکروسکوپی و ریزپردازش الکترونی واحدهای تورمالین‌دار: الف) تصویر میکروسکوپی از پگماتیت تورمالین‌دار با بافت پگماتوئیدی، ب). تصویر صحرایی از تورمالین به طول تقریبی ۱۴ تا ۲۲ میلی‌متر و پگماتیت‌های موجود در توده‌های گرانیتوئیدی (دید به سمت جنوب). پ) تصویر ریزپردازش الکترونی از تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها، ت)تصویر میکروسکوپی از واحد گرانودیوریت با بافت دانه‌ای و شامل کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات قلیایی، بیوتیت و موسکویت، ث) تصویر میکروسکوپی از فلدسپات و تورمالین موجود در رگه‌های کوارتز_تورمالین. ج) رگه‌های کوارتز-تورمالین در سنگ‌های گرانودیوریتی (دید به سمت شرق). (Qtz: کوارتز- Hbl: هورنبلند، Fsp: فلدسپار،- Pl: پلاژیوکلاز،- Mc: میکروکلین،- Bt: بیوتیت،- Ms: موسکوویت،- Or: ارتوز-و Tur: تورمالین [۴۰]).

واحد گرانودیوریت با گسترش بسیار بیشترین سهم را در این مجموعه دارد. این مجموعه دارای بافت دانه‌ای و شامل کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات قلیایی، بیوتیت، موسکویت به عنوان کانی اصلی و زیرکن و آپاتیت به عنوان کانی فرعی است. بلورهای کوارتز حدود ۲۰ درصد کل سنگ را تشکیل می‌دهند و اغلب ناخودشکل بوده، دارای شکستگی و گاهی با بافت میرمکیتی هستند. فلدسپات‌های قلیایی از نوع میکروکلین هستند و بافت پرتیتی دارند. بیوتیت به مقدار زیاد

و کانی موسکویت هم به مقدار قابل ملاحظه دیده می‌شوند (شکل ۳ ت). بلورهای مسکویت دارای اندازه گاهی تا یک میلیمتر هستند و اغلب در فضاهای بین تورمالین‌ها و همراه با کوارتز دیده می‌شوند. گاهی خمش و چین خوردگی های کوچک در مسکویت‌ها دیده می‌شود که بیانگر تنش و دگرشکلی در نمونه است. مسکویت‌ها اغلب به صورت تخته‌ای و دارای اندازه ریز تا متوسط هستند. گاهی فلدسپات و تورمالین در دو مجموعه کاملاً مجزا در کنار هم قابل دیده‌اند. رگه‌های کوارتز-تورمالین در سنگ‌های گرانودیوریتی برونزد دارند که به‌صورت دانه‌ریز و در میان یک شکاف بوجود آمده و توسط سیلیس و فلدسپات احاطه شده‌اند (شکل‌های ۳ ث و ج).

تورمالین موجود در این رگه‌ها با چندرنگی معکوس سبز-آبی همراه کوارتز، پلاژیوکلاز و مسکویت و همچنین به صورت لکه‌های قهوه‌ای در لبه و آبی در وسط با چندرنگی معکوس که بخش عمده آن همراه با کوارتز است دیده می‌شود. پلاژیوکلاز با ماکل تکراری، میکروکلین و پرتیت‌های بسیار درشت نیز دیده می‌شوند. این تورمالین‌ها اغلب توسط رگچه‌های نازک تغذیه می‌شوند و می‌توانند ناشی از یک فاز غنی از بور (B) در فازهای پایانی باشند [۴۱].

شیمی کانی تورمالین در منطقه مورد بررسی

با استفاده از نتایج تجزیه ریزپردازشی بر اساس ۳۱ آنیون فرمول ساختاری تورمالین‌های موجود در منطقه، نوع تورمالین‌ها با توجه به نمودار دوتایی Mg/Mg+Fe نسبت به X_{-vac}/X_{-vac}+Na تغییرات ترکیبی در نسبت‌های Ca, Na, Mg, Fe [۴۲] بررسی شد (شکل ۴ الف). برپایه این نمودار، قرارگیری تورمالین‌ها در گستره شورل-فوئیتیت قابل دیده است. همچنین، بیشتر تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها با دارا بودن مقدار کمتری از Mg/Mg+Fe، در قسمت شورلیت قرار دارند و تورمالین موجود در رگه‌های کوارتز-تورمالین و بخشی از تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها نیز با دارا بودن مقدار بیشتری از Mg/Mg+Fe وابسته به قطب فوئیتیت هستند. با توجه به تمایل نمونه‌ها به سمت قطب شورلیت در مقایسه با دراویت، در مجموع می‌توان گفت که مقدار Fe نمونه‌ها از مقدار Mg بیشتر است. از سوی دیگر، با استفاده از نمودارهای Na/Na+Ca نسبت به Fe/Fe+Mg [۴۳] و Ca/Ca+Na نسبت به Mg/Mg+Fe [۴۴]، همه تورمالین‌ها در گستره شورلیت قرار دارند. بر این اساس، تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها دارای نسبت بالاتری از Fe/Fe+Mg و نسبت کمتر Mg/Mg+Fe هستند (شکل‌های ۴ ب و پ). همچنین چنین برداشت می‌شود که رگه‌های کوارتز تورمالین نسبت به تورمالین موجود در پگماتیت ها دارای نسبت Fe/Fe+Mg پایین‌تر و نسبت Mg/Mg+Fe بالاتری هستند. از سوی دیگر، رگه‌های کوارتز-تورمالین نسبت به تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها دارای نسبت کمتری از سدیم و کلسیم هستند.

اشغال ناکامل جایگاه Y نمونه‌ها به کمک نمودار R_2^* نسبت به Al in R_2 [۴۵] بررسی شد. کمبود در این جایگاه با جایگزینی مقداری از Mg, Fe موجود توسط Al, Li در موقعیت Y توجیه می‌شود که تا حدی می‌تواند مربوط به جانشینی آلبائیت (جانشینی لیتیم) باشد (شکل ۳ ت).

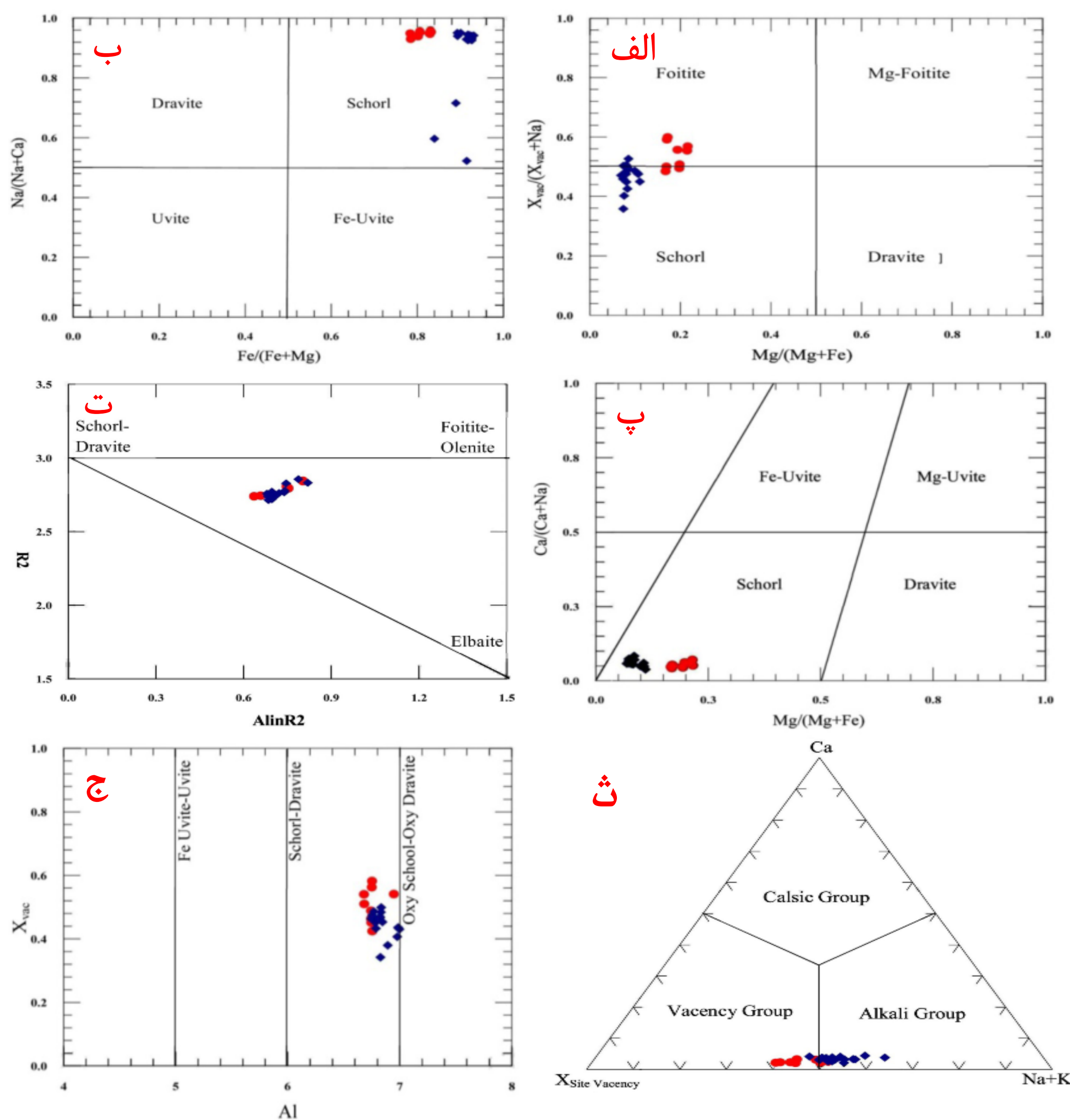
تورمالین‌ها براساس وجود یا نبود تهیجای X و مقادیر Ca, Na, K، به سه دسته تورمالین‌های کلسیمی، قلیایی و انواعی که جایگاه X آنها خالی است تقسیم می‌شوند [۴۲]. بر اساس این رده‌بندی، نمونه‌های برداشت شده از بیشتر تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها از نوع قلیایی هستند و رگه‌های کوارتز-تورمالین و دو نمونه نیز از تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها در منطقه تهیجای X دارند که این امر نشان دهنده پایین بودن مقادیر سدیم و پتاسیم موجود در جایگاه X در مقایسه با مقدار Ca است (شکل ۴ ث). در نمودار X_{vac} نسبت به Al [۴۵]، همه نمونه‌های تورمالین شامل تورمالین موجود در پگماتیت‌ها و رگه‌های کوارتز تورمالین در گستره بین شورل-دراویت و اکسی‌شورل-اکسی‌دراویت قرار دارند. بر این اساس تهیجای X در رگه‌های کوارتز تورمالین نسبت به تورمالین موجود در پگماتیت‌ها بیشتر است. (شکل ۴ ج).

در نمودار تغییرات Fe نسبت به Mg [۴۵]، ترکیب شورلیت- دراویت روی خط $\sum$(Fe+Mg)=3 قرار دارد. همه نمونه‌ها در زیر این خط دارای $\sum$(Fe+Mg)<3 هستند و به صورت جانشینی Al در جایگاه Y در می‌آیند. بر اساس این نمودار، هرچه $\sum$(Fe+Mg) کمتر باشد، مقدار جانشینی Al در جایگاه Y بیشتر می‌شود. همه نمونه‌های برداشت شده از تورمالین‌های منطقه مورد بررسی دارای $\sum$(Fe+Mg)<3 هستند و با مقدار Mg کمتر از Fe، در گستره شورلیت قرار دارند (شکل ۵ الف).

از سوی دیگر، پراکندگی داده‌های تورمالین در این نمودار نشانگر تشکیل تهیجا و اهمیت سایر جانشینی‌ها چون AlNa.$_{-1}$Mg$_{-1}$ در جایگاه X است [۴۶]. جایگاه نمونه‌ها در نمودار Ca

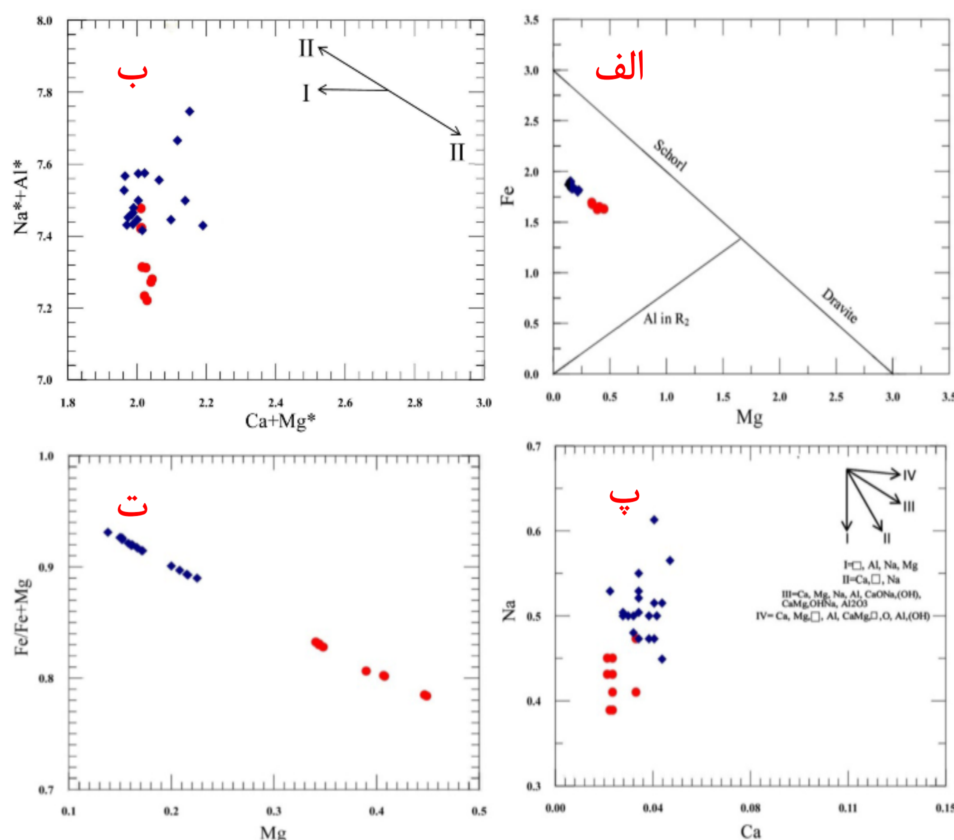
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]

Mg* + نسبت به Na* + Al* (شکل ۵ ب) نشان دهنده درجه کم جانشینی دراویت و تطابق خطی معکوس است. در نمودار Ca نسبت به Na (شکل ۵ پ)، وجود مقدار پایین کلسیم (Ca<۰/۲) نشان دهنده مقدار کم دراویت در ساختار تورمالین است. به این ترتیب، وجود مقدار بالای Al در جایگاه Y به علت جانشینی‌های $AlOMg_{-1}(OH)_{-1}$ و $AlNa_{-1}Mg_{-1}$ است [۴۷].



شکل ۴ نمودارهای رده‌بندی تورمالین‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی که نمونه‌های مورد بررسی بر آنها نشان داده شده‌اند: الف) نمودار دوتایی X-vac/X-vac+Naنسبت به Mg/Mg+Fe [۴۲]، که در آن همه تورمالین‌ها در گستره شورل-فوئیتیت با تمرکز بیشتر در منطقه شورلیت قرار دارند، ب)نمودارNa/Na+Ca نسبت به Fe/Fe+Mg [۴۳]، که بر اساس آن، همه نمونه‌ها در گستره شورلیت قرار دارند، پ) نمودار Ca/Ca+Na نسبت به Mg/Mg+Fe[۴۴] که بر اساس آن همه نمونه‌ها در گستره شورل واقع هستند، ت) نمودار R2* نسبت به Al in R2 (R2*= Fe+Mg+Mn + Al, R2= Al + 1.33Ti + Si-12) [۴۵] که نشان می‌دهد که در همه نمونه‌های تورمالین جایگاه Y به طور کامل پر نشده است، ث) نمودار مثلثی (Na+K)، Ca، Xvac [۴۲] که بر پایه آن بیشتر تورمالین‌های موجود از نوع قلیایی هستند. ج) نمودار Al نسبت به Xvac [۴۴]، که بر اساس آن نمونه‌ها در گستره بین شورل-دراویت و اکسی‌شورل-اکسی‌دراویت قرار دارند. بر اساس این نمودار، تهیجای (X) در رگه‌های کوارتز تورمالین نسبت به تورمالین موجود در پگماتیت‌ها بیشتر است. نشانه ها مانند جدول ۱ هستند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]



شکل ۵ الف) نمودار تغییرات Fe نسبت به Mg [۴۵] که بر اساس آن نمونه‌ها در زیر خط $\sum(Fe+Mg)=3$ و در گستره با Mg کمتر از مقدار Fe، یعنی شورلیت قرار دارند. ب) همبستگی معکوس *Ca+Mg نسبت به *Na* + Al. (,Mg*= Mg+ Fe + Mn + 2Li –Ti, Na*= Na + K (Al*= Al + Fe3+ + 2Ti-Li قرارگیری نمونه‌ها نشان دهنده درجه کم جانشینی دراویت و تطابق خطی معکوس است. پ) نمودار Ca نسبت به Na. که وجود مقدار پایین کلسیم (Ca<۰٫۲) نشان دهنده مقدار کم دراویت در ساختار تورمالین است. ت) نمودار Mg نسبت به Fe/Fe+Mg که نشان دهنده بیشتر بودن مقدار نسبی منیزیم در رگه‌های کوارتز-تورمالین و مقدار نسبی Fe/Fe+Mg در تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌هاست. نشانه‌ها مانند جدول ۱ هستند.

میزان غنی‌شدگی تورمالین‌ها بر پایه نمودار Mg نسبت به Fe/Fe+Mg، قابل اندازه‌گیری است (شکل ۵ ت). نمونه‌های تورمالین‌دار مورد بررسی دارای طیف گسترده غنی‌شدگی از منیزیم Mg (۰٫۱۲ تا ۰٫۴۵) و مقدار Fe/Fe+Mg در گستره (۰٫۷۸ تا ۰٫۹۵) هستند. بر این اساس، تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها نسبت به رگه‌های کوارتز-تورمالین دارای غنی‌شدگی بالاتر در نسبت Fe/Fe+Mg و تهی‌شدگی بیشتر در نسبت Mg هستند (شکل ۵ ت).

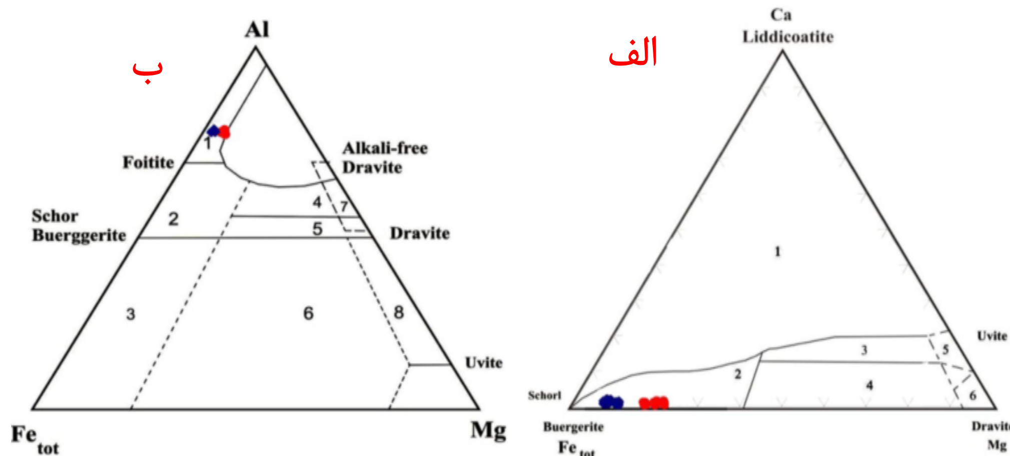
برداشت

تورمالین‌های ماگمایی نسبت به تورمالین‌های گرمابی دارای مقدار Al بالاتر و کاستی بیشتر در جایگاه X هستند [۴۳]. تورمالین‌های موجود در گرانیت‌ها، خودشکل و بدون منطقه‌بندی بوده و در شرایطی مانند پرآلومین بودن (A/CNK>1)، شرایط اسیدی PH<6.5 و با B_2O_3=2wt % متبلور می‌شوند [۴۷]. همچنین با توجه به شکل‌های ۵ الف و ب همه تورمالین‌ها به سمت کاهش در جایگاه X و Al بالا گرایش داشته و خاستگاه ماگمایی دارند. از سوی دیگر، تورمالین‌های ماگمایی در مقایسه با تورمالین‌های گرمابی عدد آهن (Fe/Fe+Mg) بالاتری دارند. همچنین بالا بودن نسبت Fe^{2+} به Mg در تورمالین از نشانه‌های تشکیل آن به وسیله مذاب‌های ماگمایی است [۴۸]. با توجه به این امر، ماگمایی بودن تورمالین‌های منطقه مالمیر با استفاده از نمونه‌های برداشت شده قابل تأیید است.

بر اساس نمودارهای Ca-Fe-Mg و Al-Fe-Mg [۱]، تورمالین‌های منطقه به ترکیب شورلیت نزدیک بوده و غنی از آهن هستند (شکل ۶). همچنین ترکیب این تورمالین‌ها در هر دو نمودار شکل ۶، در گستره گرانیتوئیدهای فقیر از Li و پگماتیت‌های وابسته به آن قرار دارند.

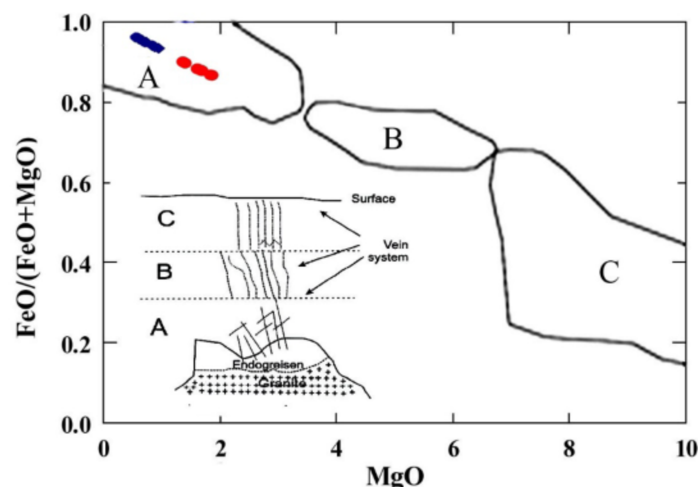
در شرایط ماگمایی، تورمالین با مقدار بسیار بیشتر B و طیف محدودتری از ترکیب‌ها نسبت به شرایط گرمابی به وجود می‌آید [۴۹]. تورمالین‌های رگه‌های کوارتز-تورمالین به دلیل قرارگیری در گستره گرانیتوئیدها به احتمال بسیار به طور ماگمایی تشکیل شده‌اند. این رگه‌ها پس از نفوذ توده اصلی گرانیتی در اثر نفوذ دوباره ماگما و تزریق آن در توده اصلی به وجود آمده‌اند. با توجه به ماهیت پرآلومین مجموعه گرانیتوئیدی مالمیر [۵۰] مقدار Al لازم برای تشکیل تورمالین در توده و رگه‌های کوارتز تورمالین فراهم بوده است. همچنین وجود تورمالین‌های اولیه نشانگر وجود بور لازم برای تشکیل تورمالین در توده و رگه است. از سوی دیگر، مقدار کافی Mg, Fe برای تشکیل تورمالینیت از مقدار FeO+MgO بیش از ۱۰ درصد در این توده برداشت می‌شود. در نتیجه باید خاستگاه Mg, Fe, Al, B مورد نیاز برای تشکیل تورمالین را درون توده گرانیتوئیدی در نظر گرفت.

بسته بودن سامانه ماگمایی، عدم دخالت سیال‌ها و آلایش آنها با رسوب‌های غنی از Al در تورمالین با نسبت $Fe^{\#}$=FeO*/FeO*+MgO بیش از ۰/۸ مشخص می‌شود. اما نسبت کمتر از ۰/۶ برای $Fe^{\#}$=FeO*/FeO*+MgO بیانگر دگرنهادی بور با رسوب‌های غنی از Al و بور از یک خاستگاه خارجی است [۵۱]. از آنجا که این که نسبت در تورمالین‌های واحدهای مختلف بیش از ۰/۸ است، خاستگاه بور سیال‌های ماگمایی در مراحل تأخیری بوده است. از سوی دیگر، مقدار $Fe^{\#}$=FeO*/(FeO*+MgO) تورمالین سیال گرمابی با فاصله گرفتن از توده گرانیتی کوچک‌تر می‌شود به طوری‌که این نسبت برای ذخایر درون گرانیتی چسبیده به توده گرانیتی بین ۰/۸ تا ۱ و برای سامانه‌های رگه‌ای در فاصله مساوی یا بیشتر از ۱ کیلومتر، کمتر از ۰/۶ است [۵۰]. با توجه به مقدار FeO*/(FeO*+MgO) نمونه‌های مختلف منطقه مالمیر که از بیش از ۰/۸ است و قرارگیری همه نمونه‌ها در گستره A (شکل ۷) می‌توان نتیجه گرفت که فاصله رگه‌های تورمالین‌دار در منطقه مورد بررسی از توده گرانیتی مالمیر کمتر از ۱ کیلومتر بوده است. بنابراین، با توجه به مقدار $Fe^{\#}$ تورمالین‌های منطقه و همچنین واقع شدن آنها در گستره ترکیبی گرانیتوئیدهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن (شکل ۷)، واحدهای دگرگونی در تشکیل آنها بی‌تاثیر بوده‌اند. قرارگیری همه نمونه‌های مورد بررسی در گستره A شکل ۷ نشانگر بالا بودن مقدار نسبی $Fe^{\#}$ در این مناطق، نزدیک بودن ناحیه تشکیل تورمالین‌ها به منبع تغذیه کننده سیال و فاصله کمتر از ۱ کیلومتر با توده نفوذی است.



شکل ۶ نمودارهای سه‌تایی Al-Fe-Mg و Ca-Fe-Mg[۱] و جایگاه ترکیبی تورمالین‌های منطقه مالمیر بر آنها: الف) نمودار Ca-Fe-Mg. که گستره‌های آن عبارتند از ۱- گرانیتوئیدهای غنی از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها، ۲- گرانیتوئیدهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها، ۳- سنگ‌های آهکی سیلیکاتی، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های غنی از Ca، ۴- سنگ‌های کوارتز- تورمالین، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های فقیر از Ca، ۵- متاکربنات‌ها و ۶- فرامافیک‌های دگرگون شده. ب) نمودار Al-Fe-Mg. که گستره‌های آن عبارتند از ۱- گرانیتوئیدهای غنی از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها، ۲- گرانیتوئیدهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها، ۳- سنگ‌های کوارتز-تورمالین سرشار از Fe^{3+}، ۴-متاپلیت‌ها و متاپسامیت‌های همزیست با یک فاز اشباع از آلومینیم، ۵- متاپلیت‌ها و متاپسامیت‌های غیرهمزیست با یک فاز اشباع از آلومینیم، ۶- سنگ‌های آهکی سیلیکاتی، متاپلیت‌ها و سنگ‌های کوارتز-تورمالین سرشار از Fe^{3+}، ۷- فرامافیک‌های دگرگون شده با کلسیم پایین و متاسدیمنت‌های غنی از وانادیم و کروم و ۸- متاکربنات‌ها و متاپیروکسنیت‌ها. همه نمونه‌های تورمالین منطقه مالمیر در گستره گرانیتوئیدهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها قرار دارند. (نشانه مانند جدول ۱ هستند)

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]



شکل ۷ نمودار (FeO#=FeO/FeO+MgO) نسبت به MgO. که در آن، میدان تورمالین‌های اندوگرانیتی تا نزدیک به توده گرانیتی (A)، نزدیک به توده گرانیتی تا حدواسط (B) و تورمالین‌های دور از توده گرانیتی (C) مشخص شده است [۵۱]. همه نمونه‌های برداشت شده از تورمالین‌های منطقه مالمیر در گستره A واقع هستند. نشانه ها مانند جدول ۱ هستند.

نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی واحدهای مختلف تورمالین‌دار منطقه مالمیر و با توجه به نمودارهای مختلف، می‌توان گفت که بیشتر تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها از نوع شورلیت هستند. این امر با نبود منطقه‌بندی در تورمالین‌های مالمیر تأیید می‌شود. اغلب تورمالین‌های موجود در رگه‌های کوارتز-تورمالین و بخشی از تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها نیز به سمت قطب فوئیتیت تمایل دارند. همچنین بر اساس جانشینی های کاتیونی، بیشتر تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها از نوع قلیایی بوده و رگه‌های کوارتز-تورمالین و تعداد کمی از نمونه‌های تورمالین موجود در پگماتیت‌ها نزدیک به قطب گروه تهیجا قرار دارند. در نمودار Mg نسبت به Fe/Fe+Mg، رگه‌های کوارتز-تورمالین بالاترین مقدار منیزیم و تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها بالاترین مقدار Fe/Fe+Mg و کمترین مقدار Mg را دارند. قرارگیری همه نمونه‌ها در زیر $\sum(Fe+Mg)<3$ نشان دهنده جانشینی Al در جایگاه Y است. حضور تورمالین‌های خودشکل در گرانیت‌های این منطقه و نبود منطقه‌بندی نشانه روشنی از غنی بودن ماگمای خاستگاه این گرانیت‌ها از بور است. تورمالین‌های درون پگماتیت‌ها خاستگاه ماگمایی دارند، در حالی که تورمالین‌های گرمابی (ماگمایی تأخیری) در سنگ‌های میزبان گرانیتی متاآلومین (کوارتزدیوریت‌ها) وجود دارند. به این ترتیب به نظر می‌رسد که بور در واحدهای مختلف خاستگاه ماگمایی یا گرمابی دارد. نسبت FeO*=FeO/FeO+MgO در مناطق تورمالین‌دار بیش از ۰٫۸ است که بیانگر شکل گیری بور از سیال‌های ماگمایی مراحل تأخیری است.

مراجع

[1] Henry D. J., Guidotti C. V., *"Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite grade metapelites of NW-Marine"*, American Mineralogist 70(1985) 1-15.

[2] Slack J. F., Herriman N., Barnes R. G., Plimer I. R., *"Stratiform tourmalinites in metamorphic terrenes and their geologic significance"*, Geology 12(1984) 713-716.

[3] Buriánek D., Novák M., *"Compositional evolution and substitutions in disseminated and nodular tourmaline from leucocratic granites: Examples from the Bohemian Massif, Czech Republic"*, Lithos 95(2007) 148-164.

[4] Maning D.A.C., *"Chemical and morphological variation in tourmalines from the Hub Kapong batholith of peninsular Tailand"*, Mineralogical Magazine 45(1982)139-147

[5] London D., Maning D.A.C., *"Chemical variation and significance of tourmaline from SW England"*, Economic Geology 90(1995) 495-519. 1995

[6] Henry D.J., Dutrow B.L., *"Metamorphic tourmaline and its petrologic applications"*, Reviews in Mineralogy and Geochemistry 33(1996) 503–557.

[7] Dutrow B.L., Henry D.J., 2011. *"Tourmaline: a geologic DVD"*, Elements 7-5(2011) 301–306.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]

[19] Mirlohi A., Khalili M., *"Petrography and Geochemistry of tourmaline nodules from Aderba leucogranite (northeast of Golpaygan)"*, petrology 27(2016) 191-205

[20] Shahrokhi S.V., Delfani H., *"Geochemistry and source determination of tourmalines in Mollataleb Area (North of Aligoudarz- Iran)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy. 27 (2) (2019) 385-400

[21] Delfani H., 2017. *"Mineralgy, geochemistry and economic geology of feldspar and tourmaline in Mollataleb (North of Aligoudarz-Lorestan province)"*, M.Sc. thesis, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran, (2017) 126 p.

[22] Moradi A., Shabanian Boroujeni N., Davodian Dehkordi, A.R., *"Geochemistry of granitoid pluton in northeastern of mine Jan (province Lorestan)"*, Journal of Economic Geology, 1(2017) 191-205

[23] Bloodate E.S., Hughes G.M., Dyar M.D., Grew E.S., Guidotti C., *"Linking structure and chemistry in the schorl–dravite series"*, American Mineralogist, 84(1999) 922-928.

[24] Stocklin j., 1968, *"Structual history and tectonic of Iran, a review"*, American association of Petrolium Geologist Bulletine, 52-7(1968) 1229-1258

[25] Mohajjel M., Sahandi M.R., *"Tectonic evolution of Sanandaj-Sirjan Zone",* Scientific Quarterly Journal Geosience, 31-32(2001) 28-49

[26] Shahrokhi S.V., 2002, *"Ore-control Determinations of Cu-Mineralization and Its Related) Elements at Kondor Area on Part of Aligudarz (NE-Lorestan Province)"*, M.Sc. Thesis, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, (2002) 155pp.

[27] Lotfi M., Shahrokhi, S.V., 2004. *"Cu-Au ore mineralization in Kondor area (N-Aligoudarz) connecting with relavant geodynamic problems of Masterrun granitoids (NE-lorestan province in Iran)"*. 7th conference of geological survey of Iran, Isfahan, Iran.–Maning, D.A.C., (2004).

[28] Esna-Ashari A., Hassanzadeh J., Valizadeh M.V., *"Geochemistry of microgranular enclaves in Aligoodarz Jurassic arc pluton, western Iran: implications for enclave generation by rapid crystallization of cogenetic granitoid magma",* Mineralogy and Petrology, 101(2011) 195–216.

[29] Esna-Ashari A., Tiepolo M., Valizadeh M.V.,Hassanzadeh J., Sepahi A.S., *"Geochemistry and zircon U-Pb geochronology of Aligoodarzgranitoid complex, Sanandaj-Sirjan*

[8] Van Hinsberg V.J., Henry D.J., Dutrow, B.L., "Tourmaline as a petrologic forensic mineral: a unique recorder of its geologic past", Elements 7-5(2011) 327–332.

[9]Van Hinsberg V.J., Henry D.J., Marschall H.R., *"Tourmaline: an ideal indicator of its host environment"*, The Canadian Mineralogist 49-1(2011) 1–16.

[10] Scaillet B., Pichavant M., Roux J., *"Experimental crystallization of leucogranite magmas"*, Journal of Petrology 36-3(1995) 663–705.

[11] Wolf M.B., London D., *"Boron in granitic magmas: Stability of tourmaline in equilibrium with biotite and cordierite"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 130-1(1997) 12–30.

[12] Krynine P.D., *"The tourmaline group in sediments"*, Journal of Geology 54(1946) 65-87.

[13] Copjakova R., Skoda R., Galiova M.V., Novak M., *"Distributions of Y + REE and Sc in tourmaline and their implications for the melt evolution; examples from NYF pegmatites of the Trebic Pluton, Moldanubian Zone, Czech Republic"*, Journal of Geosciences 58-2(2013) 113–131.

[14] Mirsepahvand F., Tahmasebi Z., Shahrokhi S.V., AhmadiKhalaji A., Khalili M., *"Geochemistry and source determination of tourmalines in Boroujerd area"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20-2(2012) 281-292.

[15] Tahmasebi Z., 2014. *"The formation mechanism of tourmaline nodules in Boroujerd area (Dehgah-Sarsakhti)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 22-3(2014)419-430

[16] Sepahi Garoo A.A., Salami S., Tabrizi M., *"Geochemistry of tourmalines in aplitic and pegmatitic dikes from Alvand plutonic and metamorphic rocks of the Hamedan area"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 22-3(2014)495-506.

[17] Shabani Z., *"investigation geochemical characteristics tourmaline in the Alvand area with a view of the boron of the economic geology source"*, M.Sc. Thesis, Khorramabad Branch, Islamic Azad university, Khorramabad, Iran, (2012)100p.

[18] Ahmadi Khalaji A., Tahmasbi Z., Zal F., Shabani Z., "*The behavior of major and trace elements of the tourmaline from the Mangavai and Ganjnameh pegmatitic rocks (Hamadan area)"*, Iranian Journal of Petrology 27(2016) 1-24

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.8.2]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.645]

Rocks", American Mineralogist, Web version 01.02.07 (2017).

[41] Didier J., Barbarin B., *"Enclaves and granite petrology",* Elsevier (1991) 601 p.

[42] Hawthorne F. C., Henry D. J., *"Classification of the minerals of the tourmaline group",* European Journal of Mineralogy, 11(1999) 201-215.

[43] Trumbull R.B., Chaussidon, M., *"Chemical and boron isotopic composition of magmatic and hydrothermal tourmalines from the Sinceni granite-pegmatite system in Swaziland",* Chemical Geology, 153(1999) 125-137.

[44] Collins A., *"Mineralogy and geochemistry of Tourmaline in contrasting Hydrothermal system, Copiapo area, Northern Chile",* University of Arizona, MS Thesis, 225pp, (2010).

[45] London D., Manning D.A.C., *"Chemical variation and significance of tourmaline from Southwest England",* Economic Geology, 90(1995) 495-519.

[46] Pesquera A., Torres-Ruiz J., Gil-Grespo P.P., Velilla N., *"Chemistry and genetic implications of tourmaline and Li-F-Cs micas from the Valdeflores area (Caceres, Spain)"*, American Mineralogist, 84(1999) 55-69.

[47] Harraz H. Z., El-Sharkaway M. F., *"Origin of tourmaline in the metamorphosed Sikait pelitic belt, south eastern desert, Egypt"*, Journal of African Earth Science, 33(2001) 391-416.

[48] Cavarretta G., Puxeddu, M., *"Schorl-Dravite-Ferridravite Tourmalines Deposited by Hydrothermal Magmatic Fluids during Early Evolution of the Larderclio Geothermal Field, Italy"*, Economic Geology, 85(1990) 1236-1251.

[49] Weisbrod A., Polak, C. and Roy, D., *"Experimental study of tourmaline solubility in the system Na-Mg-Al-Si-B-O-H Applications to the boron content of natural hydrothermal fluids and tourmalinization process",* Volume of Abstracts, International Symposium Experimental Mineralogy and Geochemistry, Nancy (1986).

[50] Shahrokhi S.V., Zarei Sahamieh, R., Amiri, F., *"Petrology and Geochemistry of Vazmestan intrusive Bodies (SE Boroujerd-Lorestan Province)"* 16th Symposium of crystallography and mineralogy of Iran, Imam Khomeini International University (2019) 137-143.

[51] Pirajno F., Smithies R.H., *"The FeO/(FeO+ MgO) ratio of tourmaline: a useful indicator of spatial variations in granite- related hydrothermal mineral deposits",* Journal of Geochemical Explorations, 42(1992) 371-381.

Zone, Iran", Journal of Asian Earth Sciences, 43(2012) 11-12.

[30] Esna-Ashari A., Tiepolo M., Hassanzadeh, J., *"On the occurrence and implications of Jurassic primary continental boninite-like melts in the Zagros orogeny"*, Lithos, 258-259(2016" 37-57.

[31] Shahrokh S.V., "Genetic of Kondor copper and gold mineralization in Aligudarz area, Lorestan, Iran", 6th European congress on regional geoscientific cartography and information system, Bologna, Italy (2009)

[32] Ahmadi-Khalaji, A., Petrology of granitoid rocks of the Boroujerd area. Ph.D. Thesis, Tehran Univesity, Tehran, Iran, (2006) 190 p.

[33] Ahmadi-Khalaji A., Esmaeily D., Valizadeh M.V., Rahimpour-Bonab H., *"Petrology and Geochemistry of the Granitoid Complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran"*, Journal of Asian earth Sciences, 29(2007) 859-877.

[34] Mahmoudi S., Corfu F., Masoudi F., Mehrabi B., Mohajjel M.*,"U–Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj–Sirjan Zone, Iran",* Journal of Asian Earth Sciences 41 (2011) 238-249.

[35] Masoudi F., 1997. *"Contact metamorphism and pegmatite development in the region SW of Arak, Iran"*, Ph.D. Thesis, Leeds University, UK, (1997) 135 p.

[36] Masoudi F., Yardley B.W.D., Cliff, R.A., *"Rb-Sr geochronology of pegmatites, plutonic rocks and a hornfels in the region southwest of Arak, Iran",* Islamic Republic of Iran, Journal of Sciences, 13-3 (2002) 249-254.

[37] Shahrokhi S.V., Zarei Sahamieh, R., 2013, *"The study of geochemistry and mineral chemistry of north Aligoudarz, Astane-E- Arak and north boroujerd granitoids, west of Iran"*, Journal of the earth,8-30(2013) 175-195

[38] Moradi A., Shabanian Boroujeni, N., Davodian Dehkordi A.R., *"Evaluating the controls on tourmaline crystallization in the mylonitic granite-gneiss pluton in the northeastern of Jan mine (Lorestan province)",* Journal of Economic Geology, 8-2(2017) 343-358.

[39] ZareiSahamieh R., Shahrokhi S.V., AhmadiKhalaji A., *"A View on the MetamorphicRrocks of the Boroujerd Area",* Mining Conference, Mimeh Branch, Islamic Azad University (1998).

[40] Siivola J., Schmid R., *"List of mineral abbreviation Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic*